

УДК 624.016.5/7 : 691.327 : 691.175

А.М.ИВАЩЕНКО, канд. техн. наук, С.В.БАКУШЕВ, д-р техн. наук
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(Российская Федерация)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КОЛОНН В КАРКАСАХ ИЗ НЕТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приводится многообразие подходов к определению коэффициентов расчетных длин $\mu_{j,уп}$ для колонн, работающих в стадии упругого деформирования. Предлагается новый метод вычисления коэффициентов $\mu_{j,пл.}$, позволяющий учитывать положительный эффект перераспределения изгибающих моментов в стойках каркасов зданий. Путем сопоставления известных расчетных результатов $\mu_{j,уп}$ с новыми уточненными расчетными данными $\mu_{j,пл.}$ по соответствующим конструкциям, но из упруго-пластического материала, анализируются характеристики устойчивости $\mu_{j,уп}$. Для расчетных схем конструкций каркасов зданий сформулированы практические рекомендации.

По мере более широкого распространения высокопрочных полимербетонов в каркасах зданий при оценке эксплуатационной пригодности колонн фактор устойчивости становится определяющим. Для осуществления расчета конструкций из новых материалов, работа которых при сжатии достаточно точно, как и стали, описывается диаграммой Прандтля, необходимо иметь рекомендации по практическиму определению характеристик устойчивости.

Характеристиками устойчивости для колонн являются коэффициенты расчетных длин μ_j , которые должны использоваться в расчете конструкций из нетрадиционных материалов для оценки несущей способности не только при центральном сжатии по признаку бифуркации, но и по признаку потери устойчивости второго рода – способом упругого ядра [3].

Исследования [2-8], направленные на разработку практических рекомендаций по определению уточненных коэффициентов $\mu_{j,пл.}$, позволяющих учитывать перераспределение продольных изгибающих моментов в стадии упруго-пластического деформирования колонн, являются актуальными не только для металлоконструкций, но и для конструкций из полимербетонов повышенной прочности.

В работе [4] предложен новый метод вычисления характеристик $\mu_{j,пл.}$ (j – номер сжатого элемента в составе неразрезной стойки) и разработан пакет программ, предназначенных для их определения. В этих программах расчет на устойчивость осуществляется с учетом упруго-пластической стадии работы колонн в составе неразрезных стоек или рам с ригелями.

В работах [5-7] выполнен обширный комплекс численных экспериментов по вычислению коэффициентов μ_j различными методами (известными – $\mu_{j,уп}$ и предлагаемым – $\mu_{j,пл.}$) для колонн с отличающимися условиями закрепления и примыканий их концов. Путем сопоставления расчетных результатов (выборочно подтвержденных экспериментальными данными испытаний физических моделей упругих стержневых систем (патенты [9, 10])) с расчетными данными по соответствующим конструкциям, но из упруго-пластического материала, проведен уникальный анализ характеристик $\mu_{j,уп}$.

В работах [5-8] вскрыты существенные недостатки использования характеристик устойчивости $\mu_{j,уп}$ при компоновке сечений колонн. Для расчетных схем стоек в составе свободных и несвободных от бокового смещения каркасах зданий, сформулированы уточненные практические рекомендации.

Рассмотрим двухъярусную несвободную раму со стойками, имеющими ригели в трех уровнях (рис.1). Такую двухэтажную раму можно выделить в качестве фрагмента из состава любой несвободной рамы с неограниченным количеством этажей. Примем $E_{p,j} J_{p,j} = const$ и, в соответствии с указаниями Норм [1, п.6.10*], назовем $i_{p,1}/i_1 = i_{p,3}/i_1 = 0,5 i_{p,2}/i_1$.

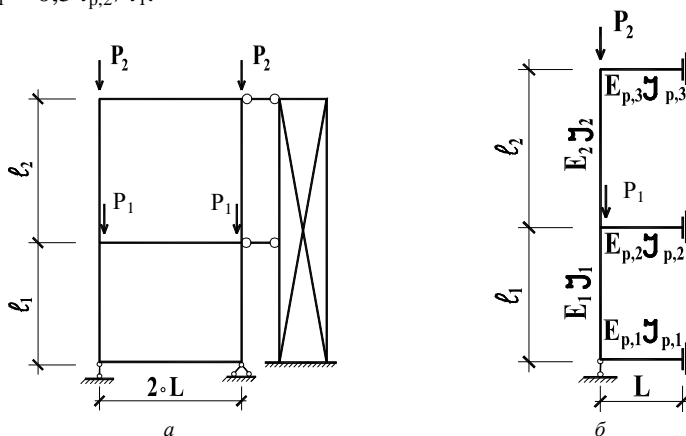


Рис.1 – Схема рамы несущего каркаса (а) и расчетная схема стойки (б)

Пусть исследуемая рама имеет такие параметры, которые совпадают с исходными данными, сосредоточенными в двух первых графах таблицы.

В таблице и выше по тексту использованы следующие условные обозначения: N_j – нагрузка на j -й стержень ($N_1 = P_1 + P_2$; $N_2 = P_2$); l_j – геометрическая длина j -го стержня (колонны); J_j и $J_{p,j}$ – момент инерции сечения j -го соответственно стержня и ригеля; E_j и $E_{p,j}$ – модуль упругости материала j -го стержня и ригеля; i_j и $i_{p,j}$ – погонная жесткость j -го стержня ($E_j J_j / l_j$) и ригеля ($E_{p,j} J_{p,j} / L$); L – длина ригеля в расчетной схеме стойки (рис.1, б); v_j – параметр, определяемый по формуле

$$v_j = l_j \sqrt{N_j / E_j \cdot J_j} \quad (1)$$

Исходные данные		Результаты решений задач устойчивости						
параметры	значения	μ_1	$\mu_{2,пл.}$ (ряд 1)	$\mu_{2,пр.}$ (ряд 2)	$\mu_{2,пар}$ (ряд 3)	$\mu_{2,г}$ (ряд 4)	$\mu_{2,эм}$ (ряд 5)	$\mu_{2,в}$ (ряд 6)
N_2/N_1	1	0,66	7,66	2,055				
		0,67	4,329					
		0,68	3,374					
l_2/l_1	0,25	0,7	2,556					
		0,727	2,049					
$E_2 \cdot J_2 / E_1 \cdot J_1$	0,5	0,75	1,677					
		0,775	1,352					
v_2/v_1	0,3536	0,8	1,076					
		0,825	0,877					
i_2/i_1	2	0,845	0,798					
$i_{p,1}/i_1$	1	0,855	0,776					
$i_{p,2}/i_1$	2	0,875	0,749					
$i_{p,3}/i_1$	1	0,95	0,712					
		1,1	0,694					

Для рассматриваемой стойки характеристики устойчивости μ_j можно вычислить шестью методами, а расчетные данные классифицировать так.

1. На основе теории Н.В.Корноухова [11] характеристика устойчивости, выраженная через наименьший расчетный параметр $V_{j,кр(мин)}$ при однопараметрическом загрузении конструкции, – коэффициенты приведенных длин $\mu_{j,пр}$.

2. На основе методики Н.Г.Куликова [12] характеристика устойчивости, выраженная через наименьший расчетный параметр $V_{j,пар(мин)}$

при парциальной норме нагружения стержневой системы, – коэффициенты парциальных длин $\mu_{j, \text{пар}}$.

3. На основе теоремы о наложении и снятии связей характеристика, выраженная через наименьшие расчетные параметры $V_{j, \text{т}(\min)}$ для стержневых систем, которые из исходной конструкции образуются путем удаления “лишних связей”, – коэффициенты свободных длин $\mu_{j, \text{т}}$.

4. На основе теории Корноухова Н.В., но характеристика устойчивости стержневой системы, выраженная не через низший, а через высший расчетный параметр критической нагрузки $V_{j, \text{кр}(\text{в})}$, – высшие коэффициенты длин $\mu_{j, \text{в}}$.

5. Эмпирические коэффициенты длин $\mu_{j, \text{эм}, \text{н}}$, используемые Нормами в качестве расчетных при проектировании каркасов многоэтажных зданий с равномерно распределенными поэтажными нагрузками [1, формулы п.6.10*]. В исследовательских целях в данной работе нормативные формулы использовались не только для определения коэффициентов $\mu_{j, \text{эм}, \text{н}}$, но и при других случаях нагружения. То есть вопреки изложенным в [1, п. 6.10*] рекомендациям, коэффициенты для колонн в рамках с неодинаково нагруженными узлами вычислялись по таким формулам, которые для этих случаев правилами проектирования не предусматриваются. Такие “неправильным способом” вычисленные коэффициенты обозначим несколько иначе – $\mu_{j, \text{эм}}$.

Все указанные выше пять разновидностей коэффициентов длин ($\mu_{j, \text{пр}}$; $\mu_{j, \text{пар}}$; $\mu_{j, \text{т}}$; $\mu_{j, \text{эм}, \text{н}}$ либо $\mu_{j, \text{эм}}$; $\mu_{j, \text{в}}$), определяемых без учета пластических свойств материала, интегрально можно обозначать $\mu_{j, \text{уп}}$.

6. Предлагаемые коэффициенты длин $\mu_{j, \text{пл}}$ вычисляются с помощью пакета разработанных нами программ [4]. По программам характеристики $\mu_{j, \text{пл}}$ для колонн каркасов зданий вычисляются новым методом – в упругопластической постановке вопроса о работе материала. Их использование при проектировании позволит учитывать положительный эффект перераспределения, между элементами многоярусных стоек каркаса, изгибающих моментов, возникающих от продольно действующих сил.

Результаты вычислений рассмотренными выше методами (подробную интерпретацию см. в [6]) сведены в соответствующие графы таблицы, а на рис.2 представлена диаграмма с изображением на ней пограничной кривой $\mu_{j, \text{пл}}$, отделяющей область устойчивых и неустойчивых состояний конструкции. На плоскости с осями координат

μ_1 и μ_2 эта кривая, как и частные значения коэффициентов $\mu_{j,уп}$, построена по данным, имеющимся в таблице.

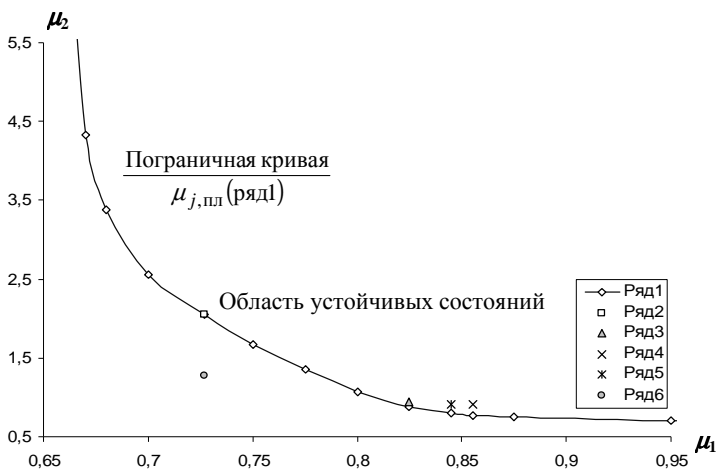


Рис. 2 – Пограничная кривая $\mu_{j,пл}$ и частные значения $\mu_{j,уп}$

Анализ результатов вычислений позволяет сделать следующие выводы:

1. Для стойки несвободной рамы величина коэффициента длины верхней части $\mu_{2,пл}$ находится в функциональной зависимости не только от ее расчетной схемы и характера силового воздействия, от геометрических размеров и параметров жесткости, но и от значения коэффициента длины $\mu_{1,пл}$ для примыкающего снизу элемента.

2. Для определенной расчетной схемы стальной стойки в каркасе, с фиксированными линейными и жесткостными характеристиками, результаты решения задачи устойчивости в двухмерном пространстве с осями координат μ_j представляют собой вогнутую со стороны устойчивых состояний конструкцию кривую. Отдельный ее фрагмент может быть выпуклым. Такая кривая с зависимостью $\mu_{2,пл} = F(\dots, \mu_{1,пл})$ является пограничной и отделяет область устойчивых и неустойчивых состояний колонн, спроектированных (скомпонованных) с использованием известных формул Норм [1] и имеющих

некоторые собственные (фактические) значения коэффициентов $\mu_{j,ф}$. Коэффициенты $\mu_{j,ф}$ определяются по нормативным формулам, но обратным расчетом.

3. В составе стойки колонны, имеющие собственные значения коэффициентов расчетных длин $\mu_{j,ф}$, совпадающие со значениями коэффициентов $\mu_{j,пл}$, лежащими на пограничной кривой, не будут иметь излишнего ресурса несущей способности.

4. Коэффициенты $\mu_{j,в}$, на плоскости с осями координат μ_1 и μ_2 , всегда находятся в области неустойчивых состояний стержневой системы. Таким образом, еще раз подтверждается неправомерность гипотезы о возможности проявления высших форм при потере системной устойчивости.

5. Коэффициенты $\mu_{j,пар}$ на плоскости с осями координат μ_1 и μ_2 в отдельных случаях:

- располагаются непосредственно на пограничной кривой;
- могут находиться в области устойчивых состояний.

Вместе с тем, в стойке с одним ригелем выявлен случай, когда $\mu_{j,пар}$ располагаются в области неустойчивых состояний, причем в существенном удалении от пограничной кривой. Поэтому, коэффициенты $\mu_{j,пар}$ могут применяться при проектировании конструкции в виде несвободной стойки с ригелями, размещаемыми на разных ярусах (втором и третьем; первом, втором и третьем). Для несвободных стоек, у которых ригели имеются только на втором ярусе, коэффициенты $\mu_{j,пар}$ применять нельзя.

6. Коэффициенты $\mu_{j,пр}$ всегда лежат на пограничной кривой и могут при проектировании использоваться без ограничения, наряду с другими возможными значениями коэффициентов $\mu_{j,пл}$.

7. Коэффициенты свободных длин $\mu_{j,т}$, нормативные эмпирические $\mu_{j,эм,н}$ и квазинормативные коэффициенты $\mu_{j,эм}$ также могут использоваться при проектировании колонн несвободных рам. Выявленный расчетом диапазон их расположения на плоскости с осями координат μ_1 и μ_2 ограничивается пограничной кривой и зоной устой-

чивых состояний, причем лишь в отдельных случаях на существенном удалении от кривой $\mu_{j,пл} = F(\dots\mu_{1,пл})$.

8. С другой стороны, исходя из выявленного диапазона размещения коэффициентов $\mu_{j,т}$, ограничивающегося достаточно узкой зоной вблизи пограничных кривых и непосредственно этими кривыми $\mu_{j,пл} = F(\dots\mu_{1,пл})$, можно прийти к следующему заключению. Распределение материала по конструкции в строгом соответствии с коэффициентами $\mu_{j,т}$, получаемыми на основе теоремы о наложении и снятии связей и в предположении равномерного (по 50%) влияния ригеля на устойчивость ячеек, выделяемых из несвободной рамы, обычно приводит к заметному увеличению ее несущей способности. Вместе с тем, достаточно часто такое распределение материала не влечет за собой излишнего ресурса устойчивости.

9. Факт расположения частных значений коэффициентов $\mu_{j,пр}$ на пограничной кривой не означает, что, используя при проектировании только эти значения, удастся всегда исключать излишний (сверхнормативный) ресурс несущей способности конструкции. Неоправданный запас появляется из-за того, что, применяя при проектировании любые частные результаты решения задачи устойчивости в виде фиксированных значений коэффициентов $\mu_{j,пр}$, нельзя (за редким исключением) добиться их соответствия фактическим значениям $\mu_{j,ф}$. Последнее обуславливается дискретностью сортамента металлопроката и другими конструктивными и технологическими ограничениями.

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

2. Куликов Н.Г., Иващенко А.М., Мальков А.А. Несущая способность сжатых изогнутых стержней из стали и железобетона по упругому ядру // Изв. вузов. Строительство. – 1997. – №11 – С.8-13.

3. Куликов Н.Г., Иващенко А.М., Мальков А.А., Челбаев В.В. Несущая способность стержней из железобетона по признаку потери устойчивости второго рода // Бетон и железобетон. – 1997. – №3 – С.15-19.

4. Иващенко А.М. Пакет программ «Определение расчетного параметра устойчивости для колонн каркасов зданий («РПУ – $\mu_{j,пл}$ »)» / Государственная регистрация в Российском национальном информационном фонде неопубликованных документов №50200400043 от 28.01 2004 г.

5. Иващенко А.М. Анализ практических методов определения расчетных характеристик устойчивости колонн. Ч.I. Колонны в составе стоек без ригелей. – Пенза, 2005. – 159 с. – Рукопись монографии представлена Пензенским государственным университетом архитектуры и строительства / Деп. в ВНИИТПИ №11970.

6.Иващенко А.М. Анализ практических методов определения расчетных характеристик устойчивости колонн. Ч.II. Колонны в составе несвободных рам. – Пенза, 2005. – 96 с. – Рукопись монографии представлена Пензенским государственным университетом архитектуры и строительства / Деп. в ВНИИТПИ №11971.

7.Иващенко А.М. Анализ практических методов определения расчетных характеристик устойчивости колонн. Ч.III. Колонны в составе свободных рам. – Пенза, 2005. – 127 с. – Рукопись монографии представлена Пензенским государственным университетом архитектуры и строительства / Деп. в ВНИИТПИ №11972.

8.Иващенко А.М. Практические методы определения расчетных характеристик устойчивости колонн каркасов зданий // Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта: Сб. науч. тр. Сер. Строительство, материаловедение, машиностроение. Вып.35. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – С.242–252.

9.Куликов Н.Г., Ханьзов Б.Д., Иващенко А.М., Комяков В.М. Устройство для механических испытаний строительной конструкции: Авторское свидетельство №1455249, 1988.

10.Куликов Н.Г., Иващенко А.М. Устройство для механических испытаний на устойчивость моделей строительных конструкций. Патент № 2073838, 1997.

11.Корноухов Н.В. Прочность и устойчивость стержневых систем. – М.: Госстройиздат, 1949. – 376 с.

12.Куликов Н.Г. Устойчивость стержневых систем при парциальной норме нагружения. – Пенза: ПГАСИ, 1994. – 169 с.

Получено 12.12.2005

УДК 625.858

В.К.ЖДАНЮК, д-р техн. наук, Р.Б.ШРЕСТХА, канд. техн. наук
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

Приводятся результаты исследования физико-механических свойств нефтяных дорожных битумов, модифицированных различными полимерами. Показаны преимущества асфальтополимербетонов по сравнению с традиционными асфальтобетонами.

Специалисты разных стран признают, что асфальтобетонные смеси являются наиболее универсальными материалами для устройства слоев дорожных одежд на городских улицах и дорогах. В тоже время, увеличение интенсивности движения и нагрузок на ось транспортных средств обуславливает необходимость внедрения в практику дорожного строительства новых материалов на основе битумов улучшенного качества, способных обеспечивать большую долговечность дорожных покрытий.

В настоящее время наметилась тенденция к увеличению потребления полимеров производителями асфальтобетонных смесей, что обусловлено способностью полимеров не только повышать прочность битума, обеспечивать повышенную деформативность при отрицатель-